Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 2, 2024, p. 197-217

Study Root System Structure and Characterstics in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars Influenced by Applications of Sources of Fertilizer under Dryland Farming

Rahim Naseri[1*], Amir Mirzaei[2] and Abbas Soleymanifard[2]

1- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
2- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran.
(*- Corresponding author's Email: mailto:r.naseri@ilam.ac.ir)

Received: 10-02-2021 Revised: 01-07-2021 Accepted: 04-07-2021 Available Online: 04-07-2021	**How to cite this article:** Naseri, R., Mirzaei, A., & Soleymanifard, A. (2024). Study root system structure and characteristics in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars influenced by applications of sources of fertilizer under dryland farming. *Journal of Agroecology, 16*(2), 197-217. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2021.68851.1023

Introduction

Among the nutrients used by the plant for the growth of nitrogen due to its participation in the structure of proteins, amino acids, coenzymes and nucleic acids are the main factors involved in plant growth and fertility. In recent decades, a group of soil bacteria in the rhizosphere has been introduced as plant growth-promoting bacteria that have been able to improve crop growth. In addition to the positive effects on soil properties, these bacteria are economically and environmentally beneficial and a good alternative to chemical fertilizers. *Azotobacter* and *Azospirillum* are the most important Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in plants that, in addition to bio-stabilizing nitrogen, produce growth-promoting hormones such as auxin, gibberellin, and cytokines. Modification of root system architecture by PGPR implicates the production of phytohormones and other signals that lead to enhanced secondary root branching and development of the root system. Since accessible water is the main factor limiting growth in dryland farming, so one of the ways to improve nutrition and plant growth is to use PGPR. Therefore, this study was carried out on the role of *Azospirillum* + *Azotobacter* on root traits of new wheat cultivars in Ilam province.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of growth-promoting bacteria on root system criteria in wheat under dryland conditions, a field experiment was carried out as a factorial arrangement based on a randomized complete block design with three replications at the farm station of Sarablah Agricultural Research Center during 2019-2020 cropping season. Experimental treatments include different wheat cultivars (Sardari, Karim, Koohdasht and Rijaw) and treatment of different fertilizer sources, including control (without fertilizer treatment), 50% urea chemical fertilizer (50% of required), *Azospirillum* + 50% urea chemical fertilizer (50% of required), *Azotobacter* + 50% N fertilizer, *Azospirillum* + *Azotobacter* + 50% urea chemical fertilizer (50% of required) and 100% urea chemical fertilizer (100% of required). Each experimental plot consisted of eight planting rows

https://doi.org/10.22067/agry.2021.68851.1023

with a row spacing of 20 cm and a length of 4 m. Nitrogen fertilizer (120 $kg.ha^{-1}$) was applied at planting and stem stage based on soil test. Phosphorus fertilizer was applied from triple superphosphate source at the recommended rate of 50 $kg.ha^{-1}$at planting time. In this study, root length, root fresh and dry weight, root volume, root surface, root diameter, specific root length, root length density, root specific mass, root tissue density and root surface area density were evaluated. Experimental data were analyzed using SAS statistical program. Comparison of means were done by Duncan test and graphs were drawn with Excel software.

Results and Discussion

The results of this study showed that the interaction between cultivar × fertilizer sources was significant in root characteristics of dryland wheat, so that the maximum root length (115.6 cm), root volume (13.3 cm^3), root surface (137.2 cm^2), specific root length (46.9 cm root $length.g^{-1}$ DW root), specific root mass (0.0045 g of DW $roots.cm^{-3}$ soil volume), root length density (0.214 cm root $length.cm^{-3}$ soil volume), root tissue density (32.4 g $root.cm^{-3}$ soil volume) and root surface area density (127.5 $cm^2.cm^{-3}$) was obtained in Rijaw cultivar × *Azospirillum* + *Azotobacter* + 50% 50% urea chemical fertilizer (50% of required) compared to control treatment (without fertilizer sources).

Conclusion

The results showed that due to the lack of rainfall in most dryland fields of the province and also due to the positive effect of fertilizer biofertilizer in maintaining soil moisture, improving the physical and chemical quality of soil, to achieve proper grain yield in dryland conditions of biofertilizer with chemical fertilizer used nitrogen. In this study, it was observed that in the combined system of biochemical and chemical fertilizers, the rooting system increases so that the maximum root length, root volume, root area, root-specific volume, root length density, root tissue density and root surface density was observed from Rijaw cultivar × *Azospirillum* + *Azotobacter* + 50% N chemical fertilizer. Bacteria increase plant growth by affecting the plant by improving physiological and biochemical conditions to increase resistance to adverse environmental factors in dryland farming. Therefore, the results of this study can be concluded that in dryland conditions where the intensity and fluctuations of rainfall are not predictable, having a strong root system can greatly reduce the harmful effects of water deficit against environmental stresses in the region and cause an acceptable increase in the grain yield of dryland wheat.

Keywords: Root diameter, Root length density, Root specific volume, Root tissue density, Root volume

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۲۱۷-۱۹۷

بررسی ساختار و خصوصیات سیستم ریشه‌ای ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) دیم تحت کاربرد منابع مختلف کودی

رحیم ناصری[1*]، امیر میرزایی[2] و عباس سلیمانی‌فرد[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۳

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد گیاه روی سیستم ریشه‌ای گندم در شرایط دیم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله استان ایلام در سال زراعی ۹۹- ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ارقام مختلف گندم (سرداری، کریم، کوهدشت و ریژاو) و منابع مختلف کودی شامل شاهد (عدم مصرف کود)، کود شیمیایی اوره (تأمین ۵۰ درصد نیاز گیاه)، باکتری *آزوسپیریلیوم* + کود شیمیایی اوره تأمین ۵۰ درصد نیاز گیاه)، باکتری *ازتوباکتر* + کود شیمیایی اوره (۵۰ درصد نیاز گیاه)، باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + کود شیمیایی اوره (۵۰ درصد نیاز گیاه) و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز گیاه با اوره بود. صفات مورد ارزیابی در این پژوهش شامل طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه، قطر ریشه، طول مخصوص ریشه، تراکم طول ریشه، حجم مخصوص ریشه، تراکم بافت ریشه و چگالی سطح ریشه بود. بیشترین طول ریشه (۱۱۵/۶ سانتی‌متر)، حجم ریشه (۱۳/۳ سانتی‌مترمکعب)، سطح ریشه (۱۳۷/۲ سانتی‌مترمربع)، طول مخصوص ریشه (۴۶/۹ سانتی‌متر طول ریشه بر گرم وزن خشک ریشه)، حجم مخصوص ریشه (۰/۰۰۴۵ گرم وزن خشک ریشه بر سانتی‌مترمکعب حجم خاک)، تراکم طول ریشه (۰/۲۱۴ سانتی‌متر طول ریشه بر سانتی‌مترمکعب خاک)، تراکم بافت ریشه (۳۲/۴ گرم ریشه بر مترمکعب حجم خاک) و چگالی سطح ریشه (۱۲۷/۵ سانتی‌متر مربع بر سانتی‌مترمکعب) در رقم ریژاو × باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره نسبت به شاهد(عدم مصرف کود) و کمترین طول ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه، طول مخصوص ریشه، حجم مخصوص ریشه، تراکم طول ریشه، تراکم بافت ریشه و چگالی سطح ریشه در رقم سرداری × شاهد (عدم مصرف کود) مشاهده گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده در شرایط دیم، گندم رقم ریژاو با توجه به ساختار ریشه‌ای گسترده و مناسب‌تر در حضور باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* عملکرد قابل قبولی را توانست به‌دست آورد، بنابراین می‌توان این رقم را پیشنهاد داد.

واژه‌های کلیدی: تراکم بافت ریشه، تراکم طول ریشه، حجم ریشه، حجم مخصوص ریشه، قطر ریشه

مقدمه

اکثر زمین‌های زراعی کشور ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار داشته که دارای اسیدیته قلیایی و مواد آلی اندکی بوده که موجب کاهش حلالیت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در خاک می‌گردد. نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر ضروری در گیاهان بوده که دو سوم آن به‌واسطه آبشویی، تصعید، روان‌آب و فرسایش از دسترس گیاه خارج می‌گردد. به‌منظور از بین بردن این مشکل، کاربرد کودهای شیمیایی افزایش یافته است که مصرف بیش از حد این کودها در طولانی‌مدت سبب بروز مشکلات فراوانی از جمله تخریب جمعیت میکروبی خاک و آلودگی محیط‌زیست می‌شود (Boveiri Dehsheikh et al., 2017). باکتری‌های افزاینده رشد گیاه، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم سبب بهبود رشد گیاهان می‌شوند. باکتری‌های

۱- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۲- استادیار، بخش علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: r.naseri@ilam.ac.ir)
https://doi.org/ 10.22067/agry.2021.68851.1023

افزاینده رشدگیاه تأثیر بسزایی در روند افزایش رشد گیاه دارند، از جمله این باکتری‌ها به *آزوسپیریلیوم*، *ازتوباکتر* و *سودوموناس* می‌توان اشاره نمود (Abbasi Seyahjani et al., 2017). یکی از مهم‌ترین تأثیر باکتری *آزوسپیریلیوم* تغییر در مورفولوژی سیستم ریشه گیاه میزبان بوده که با افزایش تعداد ریشه‌های ثانویه و موئین سبب افزایش سطح ریشه و در نهایت، سبب جذب آب و عناصر غذایی می‌گردد (Askary et al., 2009). در همین راستا، کاکمکی و همکاران (Cakmakci et al., 2007) گزارش کرده‌اند که تلقیح بذر جو (*Hordeum vulgare* L.) با باکتری‌های افزاینده رشد گیاه، سبب افزایش طول و وزن ریشه‌ها می‌گردد. در پژوهش دیگری، گزارش شده که تلیقح گندم (*Triticum aestivum* L.) با *آزوسپیریلیوم* (Naiman et al., 2009) سبب افزایش حجم و بیوماس ریشه شده که این توسعه ریشه با افزایش هورمون‌های رشد (Karthikeyan et al., 2007) و همچنین تراوش پروتونی (Mostajeran et al., 2004) مرتبط بوده است. ترشح پروتونی در حضور باکتری *آزوسپیریلیوم* موجب افزایش جذب آب توسط گیاه شده (Mahfouz & Sharaf-Eldin, 2007)، امّا در شرایط قلیائی بودن خاک به‌دلیل زیادشدن رادیکال هیدروکسیل موجب محدودشدن رشد ریشه می‌گردد (Mostajeran et al., 2004). عموآقایی (Amooaghaie et al., 2002) در پژوهش‌های‌ خود نشان دادند که علت افزایش عملکرد و رشد، به‌واسطه رشد سیستم ریشه به‌خصوص در مراحل ابتدایی رشد در گندم بوده است. تلقیح بذر گندم با باکتری *آزوسپیریلیوم* از طریق افزایش سیستم ریشه‌ای گیاه سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی و در نهایت، سبب بالارفتن زیست‌توده ریشه گندم شده است (Russo et al., 2005). آنچه مشخص است تغییرات هورمون‌های گیاهی به‌واسطه استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه منجر به افزایش وزن خشک ریشه (Shaharoona et al., 2006)، طول و سطح ریشه (Shaharoona et al., 2008) می‌شود. مستاجران و همکاران (Mostajeran et al., 2004) در طی آزمایشی، گزارش کردندکه باکتری *آزوسپیریلیوم* سبب القاء تغییر در تراکم و ایجاد انشعاب در تارهای کشنده ریشه گندم می‌گردد. در پژوهش انجام گرفته روی نخود (*Cicer arietinum* L.) گزارش شده است که طول و حجم ریشه در حضور باکتری *آزوسپیریلیوم* افزایش معنی‌داری داشت (Naseri et al., 2019b). با توجه به اینکه شناخت ساختار ریشه گیاه از اهمیت ویژه‌ای در شرایط دیم برخوردار است و گسترش مناسب آن یکی از عوامل تأثیرگذار در تولید گندم تحت شرایط کم‌آبی می‌باشد، هدف از این تحقیق، بررسی اثر کاربرد کودهای زیستی *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم* بر سیستم ریشه‌ای ارقام گندم در شرایط دیم بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد گیاه بر سیستم ریشه‌دهی ارقام جدید گندم دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله استان ایلام با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه و با طول جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۶ دقیقه و ارتفاع ۹۷۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۹- ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ارقام مختلف گندم (سرداری، کریم، کوهدشت و ریژاو) و منابع مختلف کودی شامل شاهد (عدم مصرف کود)، کود شیمیایی اوره (تأمین ۵۰ درصد نیاز گیاه)، باکتری *آزوسپیریلیوم*+ کود شیمیایی اوره (تأمین ۵۰ درصد نیاز گیاه)، باکتری *ازتوباکتر* + کود شیمیایی اوره (۵۰ درصد نیاز گیاه)، باکتری *آزوسپیریلیوم + ازتوباکتر* + کود شیمیایی اوره (۵۰ درصد نیاز گیاه) و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز گیاه با اوره بود. هر کرت شامل هشت ردیف کشت به‌طول چهار متر و فاصله ردیف‌های کشت ۲۰ سانتی‌متر بود. *آزوسپیریلیوم* و *ازتوباکتر* ($CFU.ml^{-1}$ ۱۰^۸) از مؤسسه آب و خاک کرج تهیه گردید. بذر ارقام مختلف گندم از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام تهیه گردید (جدول ۱). قبل از کاشت عملیات کاشت، بذرهای ارقام مختلف گندم با باکتری *آزوسپیریلیوم* و *ازتوباکتر* آغشته (بذور تیمار شده به‌مدت چند دقیقه روی سطح تمیز، در سایه قرار داده شدند تا خشک شوند) و سپس کشت شد. آمار هواشناسی محل مورد آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. کودهای نیتروژن و فسفر براساس آزمون خاک (جدول ۳) مورد استفاده قرار گرفتند. کود نیتروژن از منبع اوره به‌میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (در هنگام کاشت و شروع ساقه‌دهی) به زمین داده شد. کود فسفره از منبع سوپر فسفات تریپل به‌میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار توصیه شده در زمان کاشت مصرف گردید.

جدول ۱- خصوصیات ارقام گندم مورد بررسی

Table 1-Studied wheat cultivars charactersticss

ارقام Cultivars	منشأ Source	تنش خشکی Drought stress	سال معرفی Release year	تحمل به ورس Tolerant to lodging
کریم Karim	ایکاردا ICARDA	متحمل Tolerant	2011	متحمل Tolerant
کوهدشت Kohdast	-	متحمل Tolerant	2000	متحمل Tolerant
ریژاو Rijaw	ایران Iran	متحمل Tolerant	2011	متحمل Tolerant

جدول ۲- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۹- ۱۳۹۸

Table 2- Monthly mean value of precipitation and relative humidity in Agricultural Research Field Station of Sarableh during 2019-2020 cropping seasons

ماه Month	حداقل دما Min. temp. (°C)	حداکثر دما Max. temp. (°C)	میزان بارش Precipitation (mm)	حداقل رطوبت Min. RH (%)	حداکثر رطوبت Max. RH (%)
مهرماه Oct.	13.2	37.2	15	18	41
آبان Nov.	0.8	27.2	44.6	33	73
آذر Dec.	0.2	19.6	134.4	53	83
دی Jan.	-2	16.4	37.4	47	84
بهمن Feb.	-8.5	19.5	60.3	43	79
اسفند Mar.	1.7	24.8	267.1	47	84
فروردین Apr.	2.6	26.6	33.5	40	80
اردیبهشت May	4.8	36.5	11.3	24	64
خرداد Jun.	16	39.7	0	12	31

جدول۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر) محل آزمایش ۹۹- ۱۳۹۸

Table 3- Soil physical and chemical properties (0-30 cm depth) of experimental area 2019-2020

بافت Texture	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	منیزیم Mg	فسفر Available P	پتاسیم Available K	نیتروژن Total N	کربن آلی Organic C	شوری EC (dS.m^{-1})	اسیدیته pH
	(mg.kg^{-1})							(%)			
لومی- رسی Loam-clay	10	1.4	5.2	12	216	6	280	0.13	1.5	0.40	7.1

جهت اندازه‌گیری صفات مرتبط با ریشه در داخل مزرعه در مرحله گرده‌افشانی (Naseri et al., 2019a) از استوانه‌ای فلزی (شبیه به اوگر نمونه‌برداری خاک) که به‌صورت دستی طراحی و الگوبرداری شده بود، استفاده گردید. استوانه فلزی مورد استفاده در این پژوهش دارای ۳۰ سانتی‌متر طول و دو سانتی‌متر قطر بود (Naseri et al., 2019a). جهت نمونه‌گیری ریشه داخل خاک، استوانه را تا عمق مورد

در خاک فرو برده، سپس ریشه‌ها در ظرف یک بار مصرف به آزمایشگاه منتقل و پس از شستشوی ریشه‌ها، در داخل یخچال نگهداری شدند. وزن تر ریشه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم وزن گردید (Akhavan et al., 2012). پس از اندازه‌گیری پارمترهای مربوط به ریشه، ریشه‌های مورد آزمایش در داخل دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت گذاشته سپس توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم وزن شدند. طول ریشه‌ها توسط دست و پس از قرار دادن آن‌ها در آب جهت شناورشدن توسط خط‌کش اندازه‌گیری شدند.

محاسبه حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج از طریق معادله زیر انجام گرفت:

معادله (۱)
$$A = B - C$$

که در آن، A: حجم ریشه، B: حجم آب و ریشه و C: حجم آب خالی می‌باشند.

سطح ریشه که از معادله زیر محاسبه شد (Akhavan et al., 2012; Shaban et al., 2012):

معادله (۲)
$$RA = 2 \times SQRT(RV \times 3.14 \times RL)$$

که در آن، RA[1]: سطح ریشه، RV[2]: حجم ریشه و RL[3]: طول ریشه، SQRT: ریشه دوم می‌باشند.

شادابی ریشه از طریق معادله زیر محاسبه گردید (Hajabbasi, 2001):

معادله (۳)
$$RF = \frac{RL}{RV}$$

که در آن، RF[4]: شادابی ریشه (ظرافت ریشه) و RL: طول ریشه و RV: حجم ریشه می‌باشند.

قطر ریشه که طریق محاسبه آن به‌صورت زیر انجام گرفت (Hajabbasi, 2001; Schenk et al., 1979):

معادله (۴)
$$RD = SQRT\frac{(4 \times FRW)}{(RL \times 3.14)}$$

که در آن، RD[5]: قطر ریشه، FRW[6]: وزن تر ریشه، RL: طول ریشه و SQRT: ریشه دوم می‌باشند.

1- Root area
2- Root volume
3- Root length
4- Root fineness
5- Root diameter
6- Fresh root weight

محاسبه طول مخصوص ریشه به‌صورت زیر انجام گرفت (Mahanta et al., 2004; Huang et al., 1991):

معادله (۵)
$$SRL = \frac{RL}{DRW}$$

که در آن، SRL[7]: طول مخصوص ریشه، RL: طول ریشه و DRW[8]: وزن خشک ریشه می‌باشند.

طریقه محاسبه محتوی آب نسبی ریشه به‌صورت زیر صورت گرفت (Hasanabadi et al., 2010; Lovelli et al., 2012):

معادله (۶)
$$RWC = \frac{FRW - DRW}{DRW}$$

که در آن، RWC[9]: محتوی آب نسبی ریشه، RFW: وزن تر ریشه و DRW: وزن خشک ریشه می‌باشند.

تراکم طول ریشه از طریق معادله زیر به‌دست آمد (Mahanta et al., 2014; Mandal et al., 2003):

معادله (۷)
$$RLD = \frac{RL}{SV}$$

که در آن، RLD[10]: تراکم طول ریشه، RL: طول ریشه و SV[11]: حجم خاک می‌باشند.

حجم مخصوص ریشه از طریق معادله زیر به‌دست آمد (Hasanabadi et al., 2010):

معادله (۸)
$$SRM = \frac{RDW}{SV}$$

که در آن، SRM[12]: حجم مخصوص ریشه، DRW: وزن خشک ریشه و SV: حجم خاک می‌باشند.

طریقه محاسبه تراکم بافت ریشه به‌صورت زیر انجام گرفت (Paula & Pausas, 2011):

معادله (۹)
$$RTD = RDW \times RV$$

که در آن، RTD[13]: تراکم بافت ریشه، DRW: وزن خشک ریشه و RV: حجم ریشه می‌باشند.

طریقه محاسبه تراکم حجم ریشه به‌صورت زیر انجام گرفت (Hajabbasi, 2001):

7- Special root lenght
8- Dry root weight
9- Root water content
10- Root length density
11- Soil volume
12- Special root mass
13- Root tissue density

معادله (۱۰)

$$RMD = \frac{FRW}{SV}$$

که در آن، RMD[1]: تراکم حجم ریشه، FRW: وزن تـر ریشـه و SV: حجم خاک می‌باشند.

طریقه محاسبه چگالی سطح ریشه به‌صـورت زیـر انجـام گرفـت (Akhavan et al., 2012):

معادله (۱۱)

$$RAD = RL \times RD \times 3.14$$

که در آن، RAD[2]: چگالی سطح ریشه، RL: طول ریشـه و RD: قطر ریشه می‌باشند.

جهت محاسبه عملکرد دانه در برداشت نهایی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای و سپس پس از جداکـردن کـاه و کلـش، عملکـرد دانـه در سطحی معادل ۱/۸ مترمربع محاسبه گردید. تجزیه واریانس استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 و مقایسه میـانگین داده‌هـا بـه‌روش آزمـون چنـد دامنه‌ای دانکن و رسم شکل‌ها توسط Excel 2016 صورت گرفت.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک ریشه

براساس نتایج واریانس، اثرات تیمار رقم و منابع مختلف کودی بر وزن تر و خشک ریشـه معنـی‌دار بـود (جـدول ۴). رقـم ریـژاو دارای بیشترین وزن تر و خشک ریشه بود (جدول ۵). استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه موجب افزایش ایـن صـفت گردیـد، بـه‌¬طوری‌کـه تیمار باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + تأمین ۵۰ درصد نیاز نیتروژن گیاه بـا کـود اوره دارای بیشـترین و تیمـار عـدم مصـرف کـود دارای کمترین وزن تر و خشـک ریشـه بـود. (جـدول ۵). در ایـن آزمـایش همان‌طوری که جدول ۵ نشان می‌دهد ظاهراً بین ارقـام از نظـر وزن ریشه اختلاف وجود دارد، رقـم ریـژاو و کـریم نسـبت بـه سـرداری و کوهدشت دارای وزن ریشه بیشتری بوده کـه ممکـن اسـت ناشـی از اختلاف ژنتیکی بین ارقام باشد. آنچه مشخص است ارقامی که بتوانند در مراحل اولیه رشد وزن بیشتری از ریشه را به خود اختصاص دهنـد، از وضعیت مطلوب‌تری از جمله طول ریشه، حجم ریشه خواهند داشت که در این پژوهش این موضوع برای ارقام ریژاو و سپس کریم صـدق می‌کرد. افزایش وزن خشک ریشه نسبت به شاهد را می‌تواند به‌دلیل اثر باکتری در اختیار قرار دادن عناصر غذایی مـورد نیـاز گیـاه بـه‌ویژه نیتروژن و همچنین ترشح یک سری ترکیبات که توسط باکتری‌ها آزاد می‌شود، نسبت داد. تلقیح گندم با *آزوسپیریلیوم* سبب افـزایش توسـعه ریشه می‌گردد که این امر موجب توانایی بیشتر در جـذب آب و مـواد غذایی توسط گیاه شده که نتیجه آن افزایش زیسـت‌تـوده ریشـه و در نهایت، سـبب وزن خشـک ریشـه گنـدم مـی‌گـردد (Russo et al., 2005). افزایش وزن ریشه گنـدم در نتیجـه تلقـیح بـا بـاکتری‌هـای افزاینده رشد در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است که با نتـایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد (Banerjee et al., 2006; Vessey & Buss, 2002; Shaharoona et al., 2008). صـدیق و همکـاران (Siddigue et al., 1990) اظهار داشتند که ارقام جدیـد در مقایسـه با ارقام قدیمی از نظر وزن خشک ریشـه اخـتلاف معنـی‌داری وجـود دارد، که دلیل این امر را اختلاف ژنتیکی بـین ارقـام عنـوان نمودنـد. مشخص شده است کـه تغییـرات فیتوهورمـونی بـه‌دلیـل اسـتفاده از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه سبب افزایش وزن خشک ریشه خواهد شد (Shaharoona et al., 2006).

طول ریشه

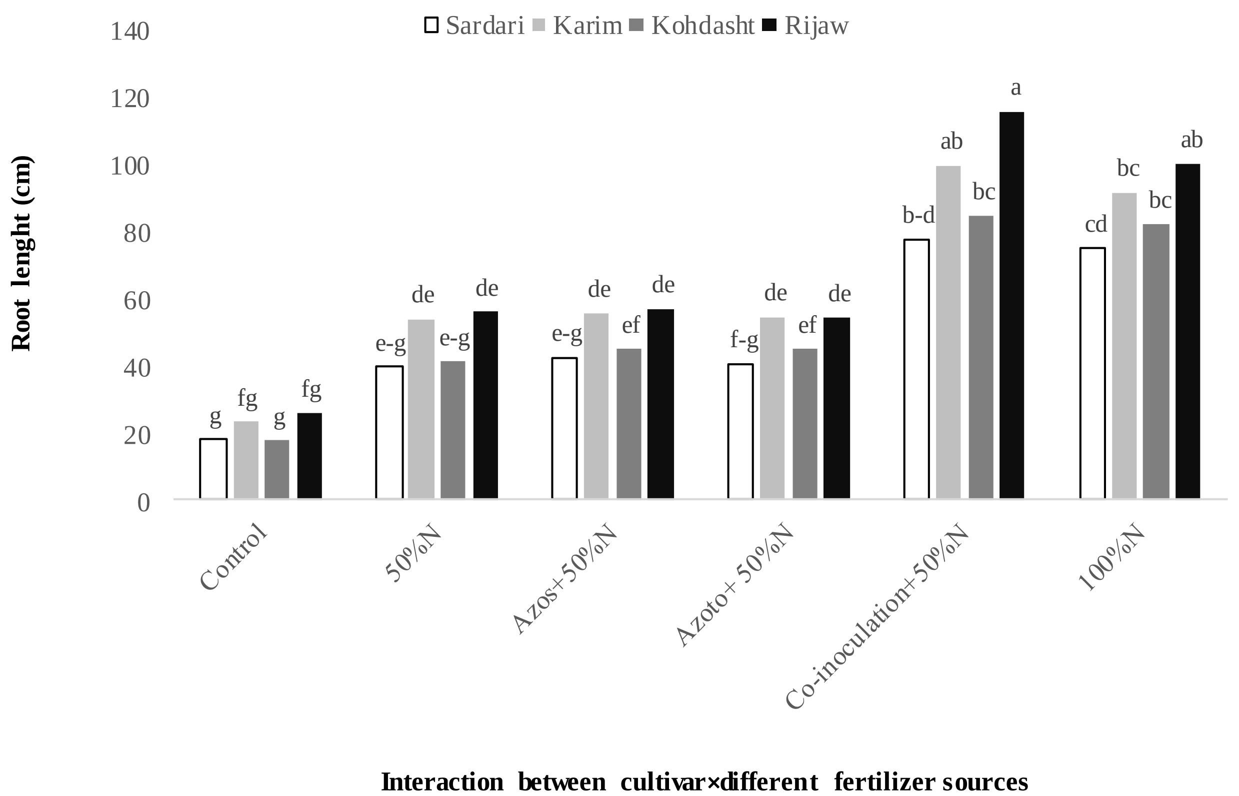
طول ریشه یکی مهم‌ترین پارامتر در روند رشـد گیـاهی اسـتفاده می‌گردد، زیرا پژوهشگران اعتقاد دارند که طول ریشه در واحـد حجـم خاک بهترین خصوصیت جهـت ارزیـابی آب خـاک و جـذب عناصـر توسط گیـاه مـی‌باشـد (Eshghizadeh et al., 2012; Khazaei et al., 2004). اثر برهم‌کنش رقـم × منـابع مختلـف کـودی در سـطح احتمال یک درصد بر طول ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشـترین میزان طول ریشه از رقم ریژاو و تحت کاربرد باکتری *آزوسـپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + تأمین ۵۰ درصد نیاز نیتروژن گیاه با کـود اوره و کمتـرین میزان طول ریشه در شاهد رقم سرداری مشـاهده شـد. به‌دسـت آمـد (شکل ۱). تلـیقح بـذر ارقـام گنـدم بـا بـاکتری‌هـای *آزوسـپیریلیوم* و *ازتوباکتر* باعث افزایش طول ریشه شد. در این پژوهش نشان داده شد که بین ارقام مختلف گندم در تیمارهای مختلف اختلاف زیادی وجـود دارد، آنچه به نظر می‌رسد، در بین ارقام گندم ریژاو و سـپس کـریم از سرعت اولیه ریشه بیشتری برخوردار بوده که نسـبت بـه سـایر ارقـام سرداری و کوهدشت در وضعیت مطلوب‌تـری قـرار داشـتند و امّـا در حضور کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد گیاه این تفاوت در طول ریشه را برای رقم ریژاو و کریم بیشتر بود. به نظر می‌آیـد کـه ارقـامی کـه بتوانند در مراحل اولیه رشد طول ریشه را داشته باشند، از جمله سـطح

1- Root mass density

2- Root surface area density

ریشه، طول مخصوص ریشه، تراکم طول ریشه و چگالی سطح ریشه بیشتری برخوردار هستند که در این پژوهش، این موضوع برای ارقام ریژاو و سپس کریم نسبت به ارقام سرداری و کوهدشت صدق کرد. افزایش طول ریشه با کاربرد باکتری *آزوسپیریلیوم* در پژوهش دیگری نیز گزارش شده است (Nezarat & Gholami, 2009). گسترش طول ریشه از طریق افزایش جذب آب سبب بهبود عملکرد دانه (شکل ۱۰) و ثبات آن مؤثر است. طول ریشه نقش بسیار مهمی در جذب آب از اعماق پایین‌تر خاک دارد (Serraj et al., 2004).

باکتری‌های افزاینده رشد گیاه از طریق تغییر در پارامترهایی ریشه‌ای مثل توسعه ریشه،وزن ریشه، بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد (Lucy et al., 2004). مشخص شده است که کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد با تغییر غلظت داخلی هورمون‌های گیاه سبب افزایش طول ریشه می‌شود (Glick et al., Shaharoona et al., 2008 ; 2001). باکتری‌های افزاینده رشد گیاه با کاهش تولید اتیلن سبب تحریک رشد ریشه می‌شود (Shaharoona et al., 2008; Glick et al., 2001).



شکل ۱- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر طول ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 1- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on root length of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۵- مقایسه ساده صفات مربوط به ریشه تحت تأثیر رقم و منبع کودی در شرایط دیم

Table 5- Simple comparison of root traits related by affected cultivar and fertilizer source under dryand conditions

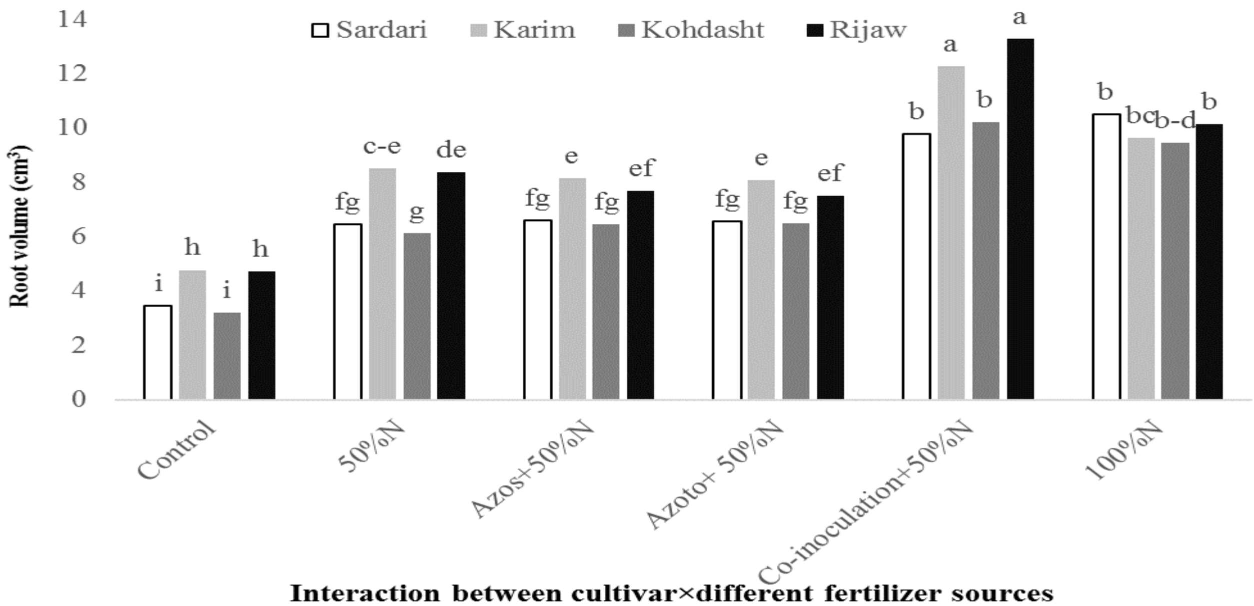
صفات Traits	وزن تر ریشه در بوته Fresh root weight per plant (g)	وزن خشک ریشه در بوته Dry root weight per plant (g)	شادابی ریشه Root fineness (cm root.root fresh weight^{-1})	آب ریشه Root water (g)
رقم Cultivar				
سرداری Sardari	7.2^{b*}	1.5^{b}	6.4^{c}	7.03^{b}
کریم Karim	7.8^{ab}	1.7^{a}	7.05^{b}	7.5^{ab}
کوهدشت Kohdasht	7.2^{b}	1.6^{b}	6.6^{c}	7.06^{b}
ریژاو Rijaw	8.6^{a}	1.7^{a}	10.05^{a}	8.4^{a}
منابع مختلف کودی fertilizer source				
شاهد (عدم مصرف کود) Control	4.03^{c}	0.90^{c}	5.3^{c}	3.7^{c}
کود شیمیایی اوره (تأمین ۵۰ درصد نیاز گیاه) 50% urea chemical fertilizer	7.2^{b}	1.44^{b}	6.3^{b}	7.07^{b}
باکتری *آزوسپیریلیوم* + کود شیمیایی اوره (تأمین ۵۰ درصد نیاز گیاه) *Azospirillum* + 50% urea chemical fertilizer	7.5^{b}	1.59^{b}	6.8^{b}	7.08^{b}
باکتری *ازتوباکتر + کود* شیمیایی اوره (۵۰ درصد نیاز گیاه) *Azetobacter* + 50% urea chemical fertilizer	7.2^{b}	1.49^{b}	6.6^{b}	7.2^{b}
آزوسپیریلیوم +ازتوباکتر + کود شیمیایی اوره (۵۰ درصد نیاز گیاه) *Azospirillum+Azetobacter* + 50% urea chemical fertilizer	10.2^{a}	2.2^{a}	12.03^{a}	9.9^{a}
تأمین ۱۰۰ درصد نیاز گیاه با اوره 100% urea chemical fertilizer	10.2^{a}	2.2^{a}	8.5^{ab}	9.9^{a}

*میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

حجم ریشه

نتایج آماری حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر اثـر معنـی‌دار (یک درصد) برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی بر حجم ریشه بود (جدول ۴). بیشترین حجم ریشه در رقم ریژاو و تحت کاربرد بـاکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کـود شـیمیایی اوره و کمتـرین حجم ریشه در رقم سرداری و شـاهد به‌دسـت آمـد. در ایـن پـژوهش میزان افزایش حجـم ریشـه در رقـم ریـژاو و تحـت کـاربرد بـاکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کـود شـیمیایی اوره نسـبت بـه شاهد (عدم مصرف کود) ۷۳/۹ درصد بود (شکل ۲). از بین ارقام مورد بررسی، رقم ریژاو و کریم بالاترین حجم ریشه را دار بودند (شکل ۲). که این تفاوت ممکن است به علت اختلاف ژنتیکی بین ارقام باشد. با کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد رقم ریـژاو و کـریم بیشـترین حجـم ریشه را دارا بودند. باکتری‌های افزاینده رشـد گیـاه بـا ایجـاد سیسـتم ریشه‌دهی گسترده سبب افزایش جذب آب و عناصر غذایی مـی‌گردنـد (Yang et al., 2009).



شکل ۲- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر حجم ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 2- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on root volume of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

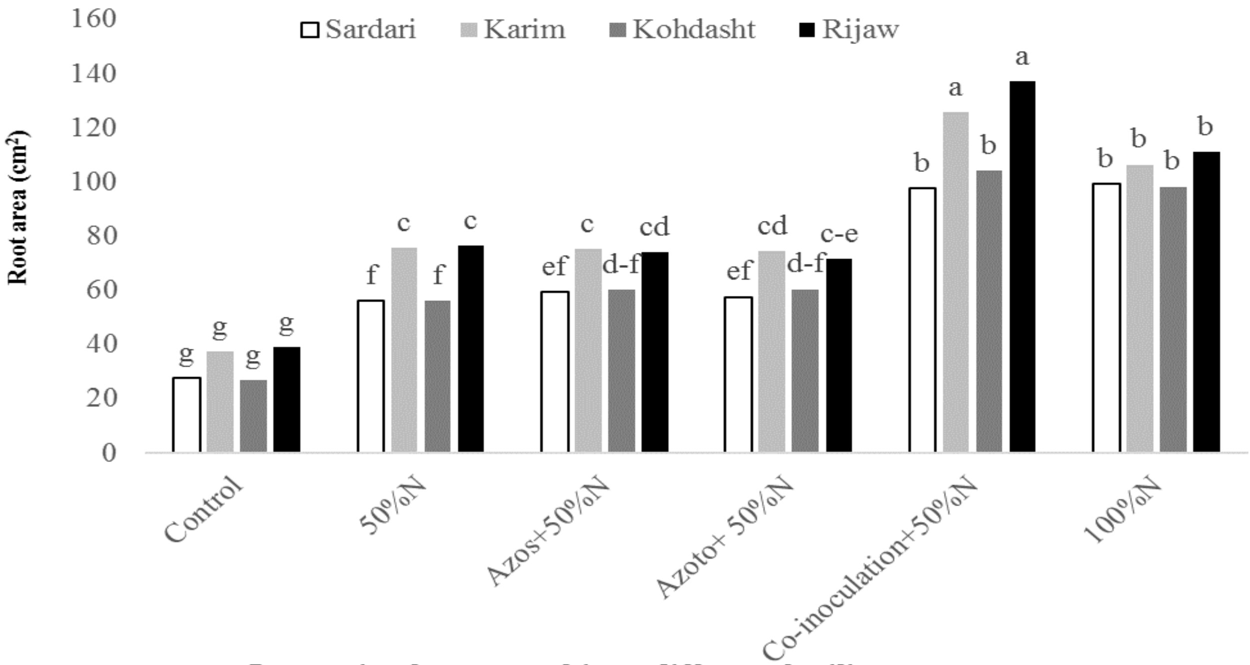
Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test

حجم ریشه از مهم‌ترین صفت در جذب آب و مواد غذایی بـوده و به‌عنوان یک صفت در بررسی بین قسمت‌های هـوایی و ریشـه گیـاه کاربرد دارد (Ganjeali et al., 2007). بیان شـد کـه نسـبت حجـم ریشه به اندام‌های هوایی می‌توانـد یکـی از مهم‌تـرین شـاخص‌هـای تخمین جذب آب توسط گیاه باشد (Caird et al., 2007).

سطح ریشه

اثر برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی سطح ریشه را بـه‌طـور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار داد (جدول ۴). با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، بیشترین سطح ریشه (افزایش ۷۹/۵ درصدی) در رقم ریژاو در تیمار *آزوسـپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کـود شـیمیایی اوره و کمتـرین آن در رقـم سـرداری و شـاهد

مشاهده شد (شکل ۳). در این پژوهش، مشخص گردید که در تمامی ارقام گندم مورد بررسی در حضور تلقیح بذور با باکتری‌های افزاینده رشد گیاه، سطح ریشه به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. عبدالعزیز و همکاران (Abdelaziz et al., 2007) و ال‌قدبان (EL-Ghadban, 2002) به دنبال تلقیح با تثبیت‌کننده‌های نیتروژن روی گیاهان رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) و مرزنگوش (*Majorana hortensis* L.) نشان دادند که جذب آب و عناصر غذایی پرمصرف در حضور باکتری ناشی از افزایش سطح ریشه بوده که مستقیماً روی فرآیندهای فیزیولوژیکی و مصرف کربوهیدرات‌ها مؤثر است. افزایش سطح ریشه از طریق افزایش سطح جذب‌کننده می‌تواند کارآیی جذب آب و عناصر غذایی را افزایش دهد (Abrishamchi et al., 2012).



شکل ۳- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر سطح ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 3- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on root area of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test

یکی از مهم‌ترین مکانیزم‌های رشد گیاه با کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد گیاه، افزایش تعداد ریشه‌های جانبی و ریشه‌های موئین بوده که این امر با افزایش سطح ریشه و دسترسی به آب و عناصر غذایی موجب بهبود وضع آبی گیاه می‌شود (Askary et al., 2009). آنچه در این پژوهش نشان داده شد، به نظر می‌رسد که رقم ریژاو از طریق افزایش طول و سطح ریشه، آب بیشتری را در شرایط دیم جذب توانست جذب کند که دلیل این موضوع را تغییر ساختار ریشه و رشد بهتر ریشه از جمله افزایش تعداد ریشه بیان کردند (Khalvati et al., 2005; Berta et al., 2005).

شادابی ریشه

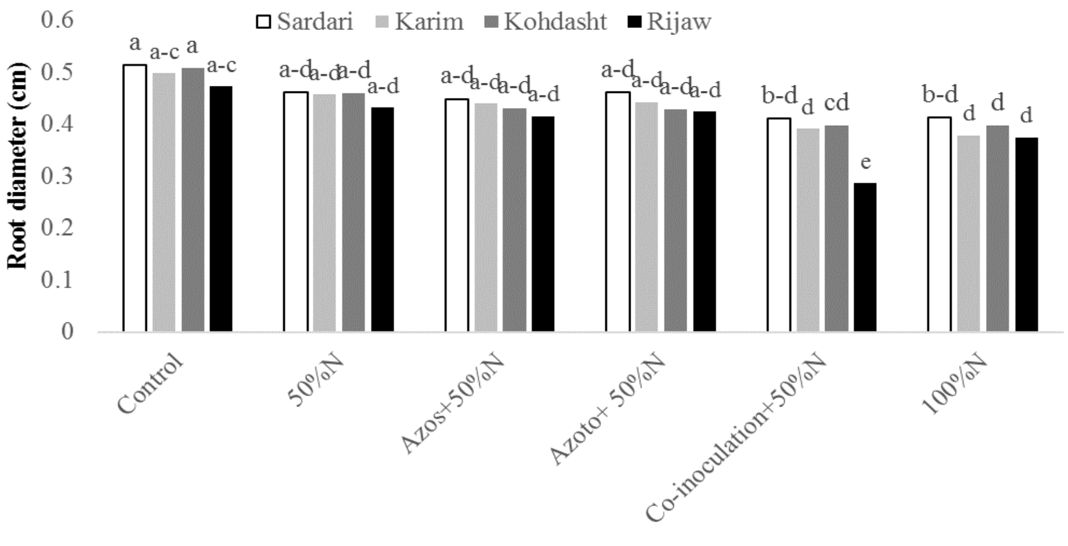
براساس نتایج واریانس داده‌های حاصل از این پژوهش، اثرات اصلی رقم و منابع مختلف کودی بر شادابی ریشه معنی‌دار گردید

(جدول ۴). رقم ریژاو و سرداری به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان بودند (جدول ۵). در این پژوهش مشاهده گردید که استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه موجب افزایش شادابی ریشه گردید، به¬طوری‌که تیمار *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* +۵۰ درصد کود شیمیایی اوره دارای بیشترین و شاهد (عدم مصرف کود) کمترین میزان شادابی ریشه را داشت (جدول ۵). در واقع، شادابی ریشه طراوت و ظرافت ریشه را در داخل خاک را نشان می‌دهد، هر چه این ظرافت ریشه بیشتر باشد، نشان‌دهنده نازک بودن ریشه بوده (Hajabbasi, 2001) که به‌نظر می‌رسد، می‌تواند در جذب آب و املاح نقش مؤثرتری داشته باشد. در پژوهش دیگری نیز گزارش شده است که استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد موجب افزایش شادابی ریشه در گندم شد (Naseri, 2017).

قطر ریشه

بر پایه نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس داده‌ها، اثر برهم‌کنش رقم × منابع کودی بر قطر ریشه معنی‌دار بود (جدول ۴). تیمارهای حاوی باکتری قطر ریشه کمتری داشتند. بیشترین قطر ریشه از رقم سرداری در شاهد (عدم مصرف کود) و کمترین قطر ریشه از رقم ریژاو و تحت کاربرد باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره به‌دست آمد. براساس این نتایج رقم سرداری در شاهد (عدم مصرف کود) افزایش ۴۴/۳ درصدی در قطر ریشه را نشان داد. دلیل کاهش قطر ریشه در تیمارهای حاوی باکتری را می‌توان به افزایش طول ریشه نسبت داد (Jiriaie et al., 2014).

تغییراتی مورفولوژیکی ریشه از جمله افزایش طولی ریشه (شکل ۱) به‌دلیل نقش مواد تنظیم‌کننده رشد تولید شده به‌وسیله باکتری‌های افزاینده رشد گیاه گزارش شده است (Banerjee et al., 2006; Vessey & Buss, 2002). با توجه به اینکه با افزایش طول ریشه، از قطر آن کاسته خواهد شد که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد.



شکل ٤- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر قطر ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 4- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on root diameter of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

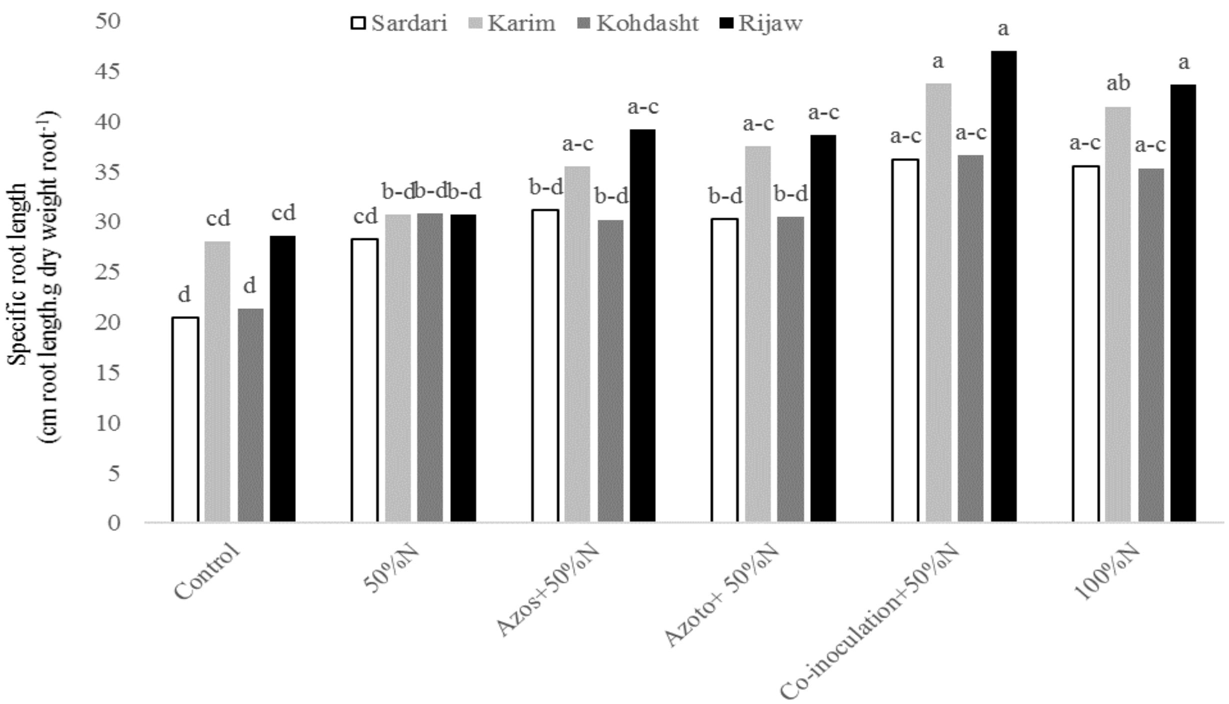
میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می¬باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test

طول مخصوص ریشه

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که صفت طول مخصوص ریشه تحت تیمارهای رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. در تیمار باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + تأمین ۵۰ درصد نیاز نیتروژن گیاه با کود اوره در رقم ریژاو بیشترین طول مخصوص ریشه را داشت و کمترین آن مربوط به شاهد(عدم مصرف کود) رقم سرداری بود (شکل ۵) .

کودهای زیستی از طریق در اختیار قرار دادن عناصر ضروری و مورد نیاز گیاه از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌واسطه گسترش و توسعه سیستم ریشه سبب افزایش رشد گندم می‌گردد (Eydizadeh et al., 2010; Amiri Farsani et al., 2013). گیاه در شرایط کمبود آب، با تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه‌ها طول مخصوص ریشه را افزایش داده، در نتیجه توانایی ریشه در جذب آب را بهبود می‌بخشد (Shaban et al., 2012). علاوه‌بر طول ریشه، طول ویژه ریشه (نسبت طول ریشه به جرم آن) نیز از صفات مهم در نشان دادن کارایی ریشه در جذب آب و مقاومت به خشکی به‌شمار می آید (Bauhus et al., 1999).



شکل ۵- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر طول مخصوص ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 5- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on specific root length of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test

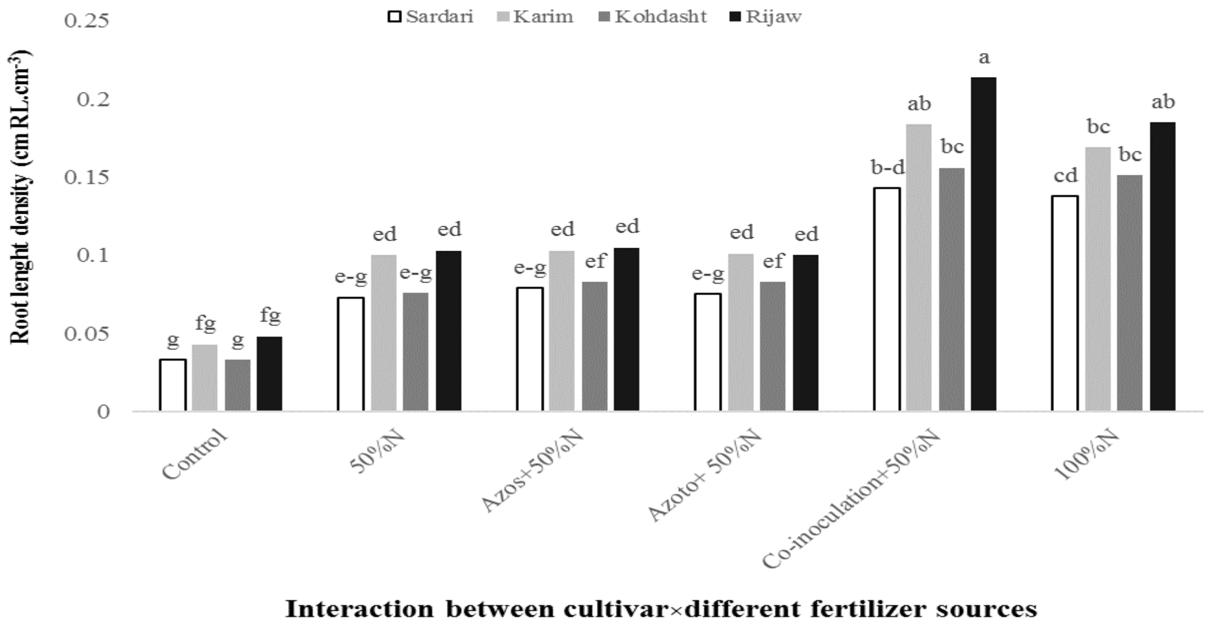
محتوی نسبی آب ریشه

محتوی نسبی آب ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار اثرات اصلی رقم و منابع مختلف کـودی قـرار گرفـت (جـدول ۴). براسـاس جدول مقایسه میانگین داده‌ها، رقم ریـژاو بیشـترین و رقـم سـرداری کمترین محتوی نسبی آب ریشـه را دارا بودنـد (جـدول ۵). مقایسـه میانگین اثر تیمارها نشان داد که استفاده از باکتری‌های افزاینده رشـد گیاه موجب افزایش ایـن صـفت گردیـد، به‌طوری‌کـه تیمـار بـاکتری *آزوسپیریلیوم* +*ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کـود شـیمیایی اوره بیشـترین و شاهد (عدم مصرف کود) کمترین محتوی نسبی آب ریشه را بـه خـود اختصاص دادند (جدول ۵). در واقع، محتوی نسبی آب می‌تواند نشان-دهنده نقش ریشه در جذب، نگهداری و انتقال آب از ریشه بـه انـدام-های هوایی باشد. در گزارش‌های ناصری و همکاران (Naseri et al., 2018) روی گندم نیز نشان داده شد کـه از نظـر محتـوی نسـبی آب ریشه بین ارقام تفاوت وجود دارد، به‌طوری‌که رقـم کـراس‌سـبلان در حضور باکتری‌های افزاینده رشد گیاه افـزایش ۵۴/۳ درصـد را نشـان داد.

تراکم طول ریشه

تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که اثر تیمـارهـای آزمایشـی بـر تراکم طول ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). از نظر تراکم طول ریشه رقم ریژاو تحت کاربرد باکتری *آزوسـپیریلیوم* +*ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شـیمیایی اوره بیشـترین (افـزایش ۸۴/۵ درصدی افزایش) و رقم سرداری در شاهد کمترین میـزان را بـه خـود اختصاص دادند. مستاجران و همکاران (Mostajeran et al., 2004) در طی آزمایشی روی گندم، نشان دادنـد کـه بـاکتری *آزوسـپیریلیوم* موجب تغییر در تراکم و انشعاب ریشه‌ای می‌گردد.

کودهـای زیسـتی حـاوی ریزجانـدارانی از جـنس *ازتوبـاکتر* و *آزوسپیریلیوم* علاوه‌بر فراهم نمودن عناصر غذایی برای گیاه و تسهیل جذب عناصر غذایی از طریق تولید ترکیبات مختلف و ترشح اسیدهای آلی، با ساخت ویتامین‌ها، تولید سیدروفور، تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه از قبیل اکسین‌ها و جیبرلین‌ها، ساخت آنزیم‌های دخیل در رشد و نمو گیاه، تولید ترشحات حل‌کننده و کاهش اسیدیته خاک، سبب رشد، توسعه ریشه و اندام‌های هوایی گیاه شده و به‌طور غیرمستقیم در رشد گیاه نقش ایفاء می‌نمایند (Gupta et al., 2015).



شکل ٦- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر تراکم طول ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 6- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on root length density of wheat under dryland conditions

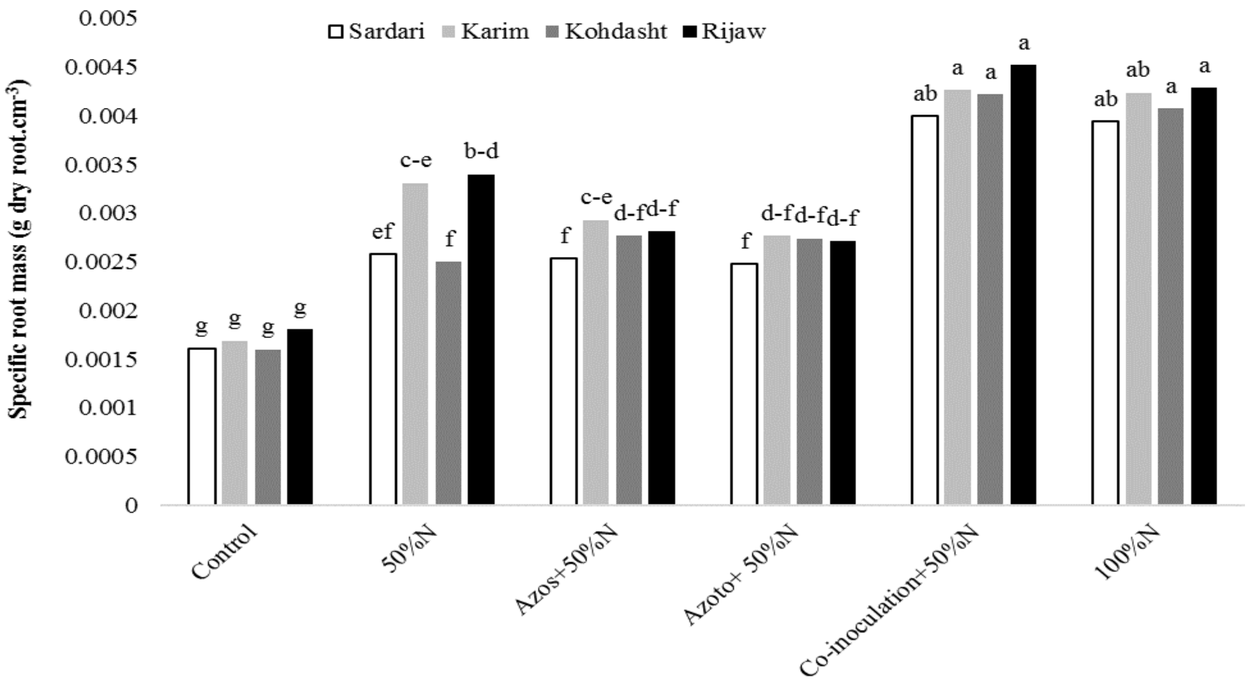
Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* +*ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test

حجم مخصوص ریشه

در این آزمایش، تأثیر تیمارهای رقم × منابع مختلف کودی بر حجم مخصوص ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۴). براساس نتایج حاصل از این پژوهش، رقم ریژاو تحت کاربرد باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره، بیشترین حجم مخصوص ریشه (افزایش ۹۶/۴ درصدی) را به خود اختصاص دادند. حجم مخصوص ریشه نیز در رقم سرداری و در شاهد دارای کمترین میزان بود (شکل ۷). نشان داده شده است که باکتری‌های افزاینده رشد گیاه مثل *ازتوباکتر* علاوه بر تثبیت نیتروژن مولکولی قادر به تولید مواد بیولوژیکی مثل اسید نیکوتینیک، اسید پنتوتنیک، اکسین‌ها، جیبرلین‌ها در اطرف ریشه گیاه بوده و با افزایش سیستم ریشه‌ای سبب بهبود جذب عناصر غذایی می‌گردد (Shata et al., 2007).

میرزا شاهی و همکاران (Mirzashahi et al., 2013) نشان دادند که در تیمارهایی که از کود زیستی *ازتوباکتر* استفاده شد، در سطوح پایین کود نیتروژن عملکرد دانه گندم بهبود یافت، آن‌ها افزایش جذب عناصر غذایی را ناشی از افزایش فراهمی زیستی عناصر معدنی خاک از طریق تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن فسفر و پتاسیم و نیز افزایش تارهای کشنده و یا تشکیل ریشه جانبی به‌دلیل تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه (اکسین، جیبرلین و سیتوکینین) ارزیابی نمودند. کودهای زیستی به‌خصوص باکتری‌های *آزوسپیریلیوم* و *ازتوباکتر* به‌عنوان محرک رشد گیاهی با تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین سبب افزایش تولید تارهای کشنده ریشه و جذب عناصر غذایی می‌شوند (Kennedy et al., 2004).



شکل ۷- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر حجم مخصوص ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 7- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on specific root mass of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test

تراکم بافت ریشه

نتایج تجزیه واریانس حاصل از داده‌ها برای تراکم بافت ریشه حاکی از آن است که بین تیمارهای رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴). با توجه به نتایج حاضر رقم ریژاو و تحت کاربرد باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره دارای بیشترین تراکم بافت ریشه (افزایش ۹۰/۷ درصدی) و کمترین آن از رقم سرداری و در شاهد به‌دست آمد (شکل ۸).

با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان چنین بیان کرد که همکاری باکتری‌های افزاینده رشد گیاه با ریشه ارقام مختلف گندم، سبب افزایش رشد ریشه و سطح جذب و ضمن افزایش جذب عناصر غذایی موجب جذب بیشتر آب از مناطق دورتر از ریشه و در نهایت، منتج به افزایش عملکرد دانه گردید (شکل ۱۰).

چگالی سطح ریشه

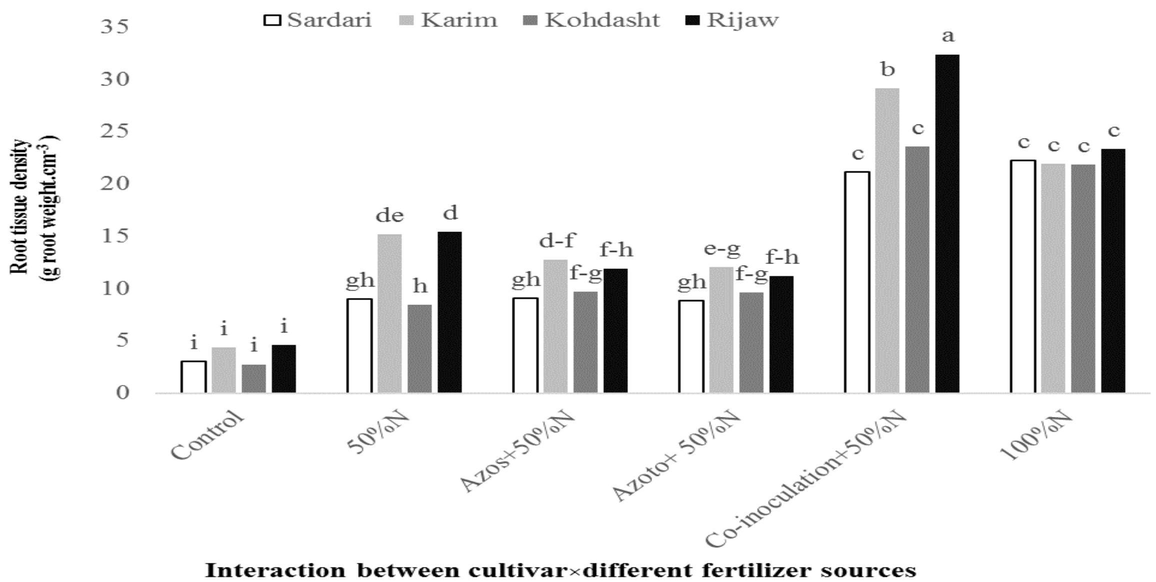
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از تأثیر معنی‌دار اثر تیمارهای آزمایشی بر چگالی سطح ریشه در سطح احتمال یک درصد می‌باشد (جدول ۴). اثر برهم‌کنش بین تیمارها نشان داد که واکنش ارقام در منابع کودی متفاوت بود، به¬طوری‌که رقم ریژاو و تحت کاربرد باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره بیشترین و رقم سرداری در شاهد کمترین چگالی سطح ریشه را داشتند. در این پژوهش، رقم ریژاو و تحت کاربرد باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره در مقایسه با شاهد (عدم مصرف کود) موجب افزایش ۷۷/۷ درصدی در چگالی سطح ریشه گردید (شکل ۹). در بررسی چگالی سطح ریشه گندم، نتایج نشان داد که تلقیح بذور با باکتری‌های افزاینده رشد گیاه توانست چگالی سطح ریشه را ۳۰ درصد افزایش دهد (Jiriaie et al., 2014).

یکی از مهم‌ترین مکانیزم‌های رشد گیاه به‌وسیله باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد، تغییر در ریخت‌شناسی سیستم ریشه گیاه است. این باکتری‌ها موجب افزایش تعداد ریشه‌های جانبی و ریشه‌های موئین می‌شوند که این امر موجب افزایش سطح ریشه و افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی می‌شود، در نتیجه موجب بهبود وضع آبی گیاه می‌شود (Askary et al., 2009).

عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت تأثیر برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). نتایج عملکرد دانه بیانگر این مطلب بود که رقم ریژاو × باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره دارای بیشترین و رقم سرداری × شاهد کمترین میزان بود، به‌طوری‌که نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) افزایش ۸۶/۳ درصدی در عملکرد دانه مشاهده شد (شکل ۱۰).

امینی و همکاران (Amani et al., 2016) افزایش عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) با کاربرد کود زیستی نیتروکسین (*آزوسپیریلیوم* و *ازتوباکتر*) را گزارش نمودند و علت آن را چنین بیان نمودند که باکتری‌های افزاینده رشد گیاه از طریق ترشح مواد محرک رشد از جمله اکسین، جیبرلین و سیتوکنین می‌توانند موجب بهبود رشد ریشه و جذب بهتر آب و مواد غذایی برای گیاه شده که این امر سبب افزایش عملکرد می‌شوند.



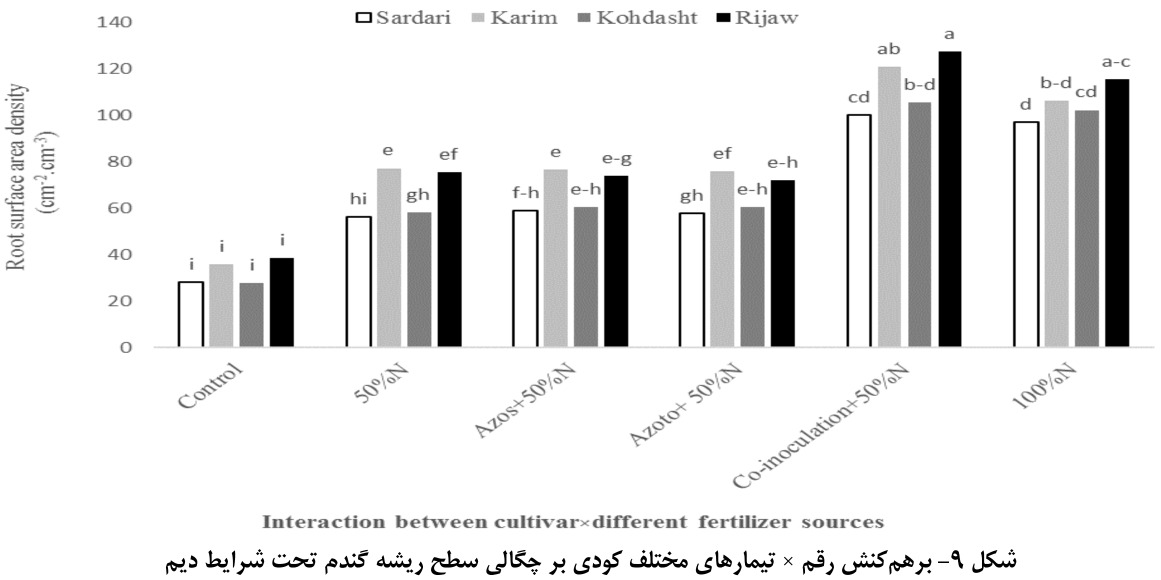
شکل ۸- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر تراکم بافت ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 8- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on root tissue density of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test



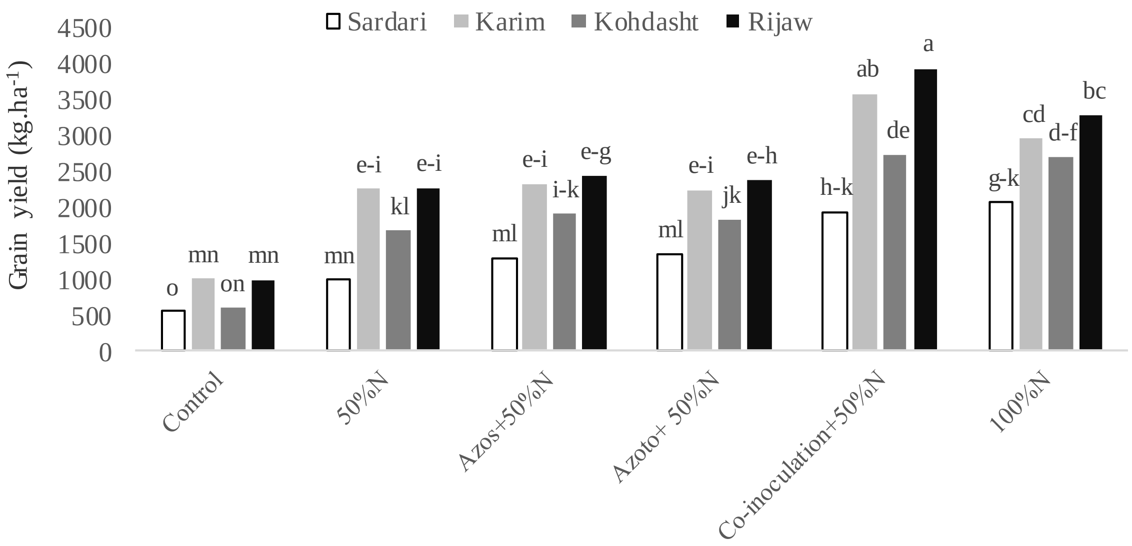
شکل ۹- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر چگالی سطح ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 9- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on root surface area density of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test



شکل ۱۰- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد دانه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 10- Interaction of cultivar × fertilizer treatments grain yield of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test

در این پژوهش نیز مشاهده شد که در اثر کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد گیاه خصوصیات ریشه‌ای از جمله طول ریشه (شکل ۱)، حجم ریشه (شکل ۲)، سطح ریشه (شکل ۳) و سایر صفات ریشه افزایش یافته که این امر موجب می‌گردد که در شرایط دیم، گندم به‌واسطه سیستم ریشه‌دهی گسترده ضمن افزایش جذب عناصر غذایی و رطوبت خاک منجر به زیادشدن عملکرد دانه گردد. افزایش عملکرد دانه گندم با کاربرد کود زیستی نیتروکسین (*ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم*) در سایر گزارش‌ها در گندم نشان داده شده‌است (Tavakoli & Jalali, 2016).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با توجه به کمبود بارندگی در شرایط دیم ایلام و به‌دلیل اثر مثبت کود زیستی در جذب رطوبت خاک از طریق گسترش سیستم ریشه برای دستیابی به عملکرد مناسب دانه می‌توان از کود زیستی استفاده کرد. در این پژوهش مشاهده شد که در سیستم تلفیقی کود زیستی و شیمیایی سیستم ریشه‌دهی افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که حداکثر طول ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه، حجم مخصوص ریشه، تراکم طول ریشه، تراکم بافت ریشه و چگالی سطح ریشه در رقم ریژاو × باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره مشاهده شد. با توجه به اینکه میزان شدت و نوسانات بارندگی در شرایط دیم قابل پیش‌بینی نیست، بنابراین سیستم ریشه‌دهی گسترده می‌تواند گندم را در برابر تنش‌های محیطی آخر فصل به‌خصوص گرما انتهای فصل حفظ و سبب بهبود عملکرد دانه گندم دیم گردد.

References

1. Abbasi Seyahjani, E., Yarnia, M., Farhvash, F., Khorshidi Benam, M.B., & Asadi Rahmani, H. (2017). Influence of *Rhizobium*, *Pseudomonas* and Fungi mycorrhiza on some traits of red beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *27*(1), 85-102. (In Persian with English

abstract). https://doi.org/20.1001.1.24764310.1396.27.1.6.6

2. Abdelaziz, M.E., Pokluda R., & Abdelwahab, M.M. (2007). Influence of compost, microorganisms and NPK fertilizer upon growth, chemical composition and essential oil production of *Rosmarinus officinalis* L. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluy-Napoca*, *35*(1), 86-90. https://doi.org/10.15835/nbha351261
3. Abrishamchi, P., Ganjeali1, A., & Sakeni, H. (2012). Evaluation of morphological traits, proline content and antioxidant enzymes activity in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Pulses Research*, *3*(2), 17-30. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v1391i2.24695
4. Akhavan, S., Shabanpour, M., & Esfahani, M. (2012). Soil compaction and texture effects on the growth of roots and shoots of wheat. *Journal of Water and Soil*, *26*(3), 727-735. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.14941
5. Amani, N., Sohrabi, Y., & Heidari, G. (2016). Yield and some physiological characteristics in maize by application of bio and chemical fertilizers under drought levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *27*(2), 65-83. (In Persian with English abstract)
6. Amiri Farsani, F., Chorom, M., & Enayatizamir, N. (2013). Effect of biofertilizerand chemical fertilizer on wheat yield under two soil types in experimental greenhouse. *Soil and Water*, *27*(2), 441-451. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.24589
7. Berta, G., Sampo, S., Gamalero, E., Massa, N., & Lemanceau, P. (2005). Suppression of *Rhizoctonia* root-rot of tomato by *Glomus mossae* BEG12 and *Pseudomonas fluorescens* A6RI is associated with their effect on the pathogen growth and on the root morphogenesis. *European Journal of Plant Pathology*, *111*(3), 279–288. https://doi.org/10.100/s10658-004-4585-7
8. Amooaghaie, R., Mostajeran, A., & Emtiazi, G. (2002). The effect of strain and concentration of *Azospirillum brasilense* bacterium on growth and development of root in wheat cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Science*, *33*(2), 222-231. (In Persian with English abstract)
9. Askary, M., Mostajeran, A., & Amooaghaei, R. (2009). Influence of the co-inoculation *Azospirillum brasilense* and *Rhizobum meliloti* plus 2,4-D on grain yield and N P K content of *Triticum aestivum* (cv. Baccros and mahdavi). *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*, *5*(3), 296-307.
10. Banerjee, M., Yesmin, R.L., & Vessey, J.L. (2006). Plant-growth- promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides, p. 137-181. In: Handbook of microbial biofertilizers. M.K. Rai, (Ed.) *Food Production Press*, U.S.A.
11. Bauhus, J., & Messier, C. (1999). Evaluation of fine root length and diameter measurements obtained using RHIZO image analysis. *Agronomy Journal*, *19(1)*, 142–147. https://doi.org/10.2134/agronj1999.00021962009100010022x
12. Boveiri Dehsheikh, A., Mahmoodi Sourestani, M., Zolfaghari, M., & Enayatizamir, N. (2017). The effect of plant growth promoting *Rhizobacteria*, chemical fertilizer and humic acid on morpho-physiological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* var. thyrsiflorum). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *26*(4), 129-142. (In Persian with English abstract)
13. Caird, M.A., Richards, J.H., & Donovan, L.A. (2007). Night time stomatal conductance and transpiration in C_3 and C_4 plants. *Plant Physiology*, *143(1)*, 4–10. https://doi.org/10.1104/pp.106.092940
14. Cakmakci, R., Erat, M., Erdoman, U.G., & Donmez, M.F. (2007). The influence of PGPR on growth parameters, antioxidant and pentose phosphate oxidative cycle enzymes in wheat and spinach plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *170*(2), 288-295. https://doi.org/10.1002/jpln.200625105
15. EL-Ghadban, E.A.E., Ghallab, A.M., & Abdelwahab, A.F. (2002). Effect of organic fertilizer and biofertilization on growth, yield and chemical composition of Marjoram plants under newly reclaimed soil conditions. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, *28*(9), 6957-6973. https://doi.org/10.21608/jacb.2003.252955
16. Eshghizadeh, H.R., Kafi, M., Nazami, A., & Khoshgoftarmanesh, A.H. (2012). Studies on the role of root morphology attribution in salt tolerance of blue-pani grass (*Panicum antidotale* Retz.) using artificial neural networks (ANN). *Research on Crops*, *13*(2), 534-544.
17. Eydizadeh, K., Mahdavi Damghani, A., Sabahi, H., & Soufizadeh, S. (2010). Effect of integrated application of biofertilizer and chemical fertilizer on growth of maize (*Zea mays* L.) in Shushtar. *Journal of Agroecology*, *2*(2), 292-301. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v2i2.7636
18. Feiziasl, V., Fotovat, A., Astaraeiand, A., & Lakzyan, A. (2014). Effects of nitrogen fertilizer rates and application time on root characteristics of dryland wheat genotypes. *Iranain Journal of Dryland Agriculture*, *2*(1), 41-59. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/idaj.2014.100555
19. Ganjeali, A., & Kafi, M. (2007). Genotypic differences for allometric relationships between root and shoot characteristics chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, *39*(5), 1523-1531.
20. Glick, B.R., Penrose, D., & Wenbo, M. (2001). Bacterial promotion of plant growth. *Biotechnology Advance*, *19*(2), 135-138. https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00065-3

21. Gupta, G., Parihar, S.S., Ahirwar, N.K., Snehi, S.K., & Singh, V. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Current and future prospects for development of sustainable agriculture. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, *7*(2), 96-102. https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000188
22. Hajabbasi, M.A. (2001). Tillage effects on soil compactness and wheat root morphology. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *3*, 67-77.
23. Hasanabadi, T., Ardakani, M.R., Rejali, F., Paknejad, F., Eftekhari, S.A., & Zargari, K. (2010). Response of barley root characters to co-inoculation with *Azospirillum lipoferum* and *Pseudomonas flouresence* under different levels of nitrogen. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, *9*(*2*), 156-162.
24. Huang, B.R., Taylor, H.M., & Mcmichael, B.L. (1991). Growth and development of seminal and crown roots of wheat seedlings as affected by temperature. *Environmental and Experimental Botany*, *31*(*4*), 471-477. https://doi.org/10.1016/0098-8472(91)90046-Q
25. Jiriaie, M., Fateh, E., & Aynehband, A. (2014). The consequences of single and integrated application of mycorrhiza and *Azospirillum* inoculants on yield and yield components of warm region wheat cultivars (*Triticum* spp.). *Journal of Agroecology*, *6*(3), 520-528. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v6i3.21770
26. Karthikeyan, B., Jaleel, C.A., Gopi, R., & Delveekasundarm, M. (2007). Alterations in seedling vigour and antioxidant enzyme activities in *Catharanthus roseus* under seed priming with native diazotrophs. *Journal of Zhejiang University Science*, *8*(7), 453-457. https://doi.org/10.1631/jzus.2007.B0453
27. Khalvati, M.A., Mozafar, A., & Schmidhalter, V. (2005). Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology Stuttgart*, *7*(6), 706-712. https://doi.org/10.1055/s-2005-872893
28. Khazaei, H.R., Riahinia, S., & Eshghizadeh, H.R. (2014). Effect of water stress on root distribution and extension of different triticale genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(3), 417-426. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v12i3.42217
29. Kennedy, I.R., Choudhury, A.T.M., & Kecskes, M.L. (2004). Non-symbiotic bacterial diazothrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promoting be better expoited?. *Soil Biology and Biochemistry*, 1229-1244. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.04.006
30. Lovelli, S., Pernio, M., Di Tommaso, T., Biochicchio, R., & Amato, M. (2012). Specific root length and diameter of hydroponically-grown tomato plants under salinity. *Journal of Agronomy*, *11*(4), 101-106. https://doi.org/10.3923/ja.2012.101.106
31. Lucy, M., Reed, E., & Glick, B.R. (2004). Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Soil Science*, *86*, 1-25. https://doi.org/10.1023/B:ANTO.0000024903.10757.6e
32. Mahanta, D., Rai, R.K., Mishra, S.D., Raja, A., Purakayastha, T.J., & Varghese, E. (2014). Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. *Field Crops Research*, *166*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.016
33. Mahfouz, S.A, & Sharaf-Eldin, M.A. (2007). Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). *International Agrophysics*, *21*(4), 361-366. https://doi.org/10.1055/s-2007-987419
34. Mandal, K.G., Hati, K.M., Misra, A.K., Ghosh, P.K., & Bandyopadhyay, K.K. (2003). Root density and water use efficiency of wheat as affected by irrigation and nutrient management. *Journal of Agricultural Physics*, *3*(1 & 2), 49-55.
35. Mirzashahi, K., Asadi Rahmani, H., Khavazi, K., & Afshari, M. (2013). The effect of two biofertilizer on irrigated wheat in north of Khozestan. *Soil and Water Science*, *27*(2), 159-168. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijsr.2013.126241
36. Mostajeran, A., Amooaghaei R., & Emtiazi, G. (2004). The effect of *Azospirillum brasilense* and pH of irrigation water on yield, protein content and sedimentation rate of protein in different wheat cultivars. *Iranian Journal of Biology*, *18*(3), 243-260. (In Persian with English abstract).
37. Naiman, A.D., Latrónico, A., & Salamone, I.E. (2009). Inoculation of wheat with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: Impact on the production and culturable rhizosphere microflora. *European Journal of Soil Biology*, *45*(1), 44-51. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.11.001
38. Naseri, R. (2017). Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on morpho-physiological traits and yield of two wheat cultivars under dryland farming. *Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran*, 356 pp. (In Persian with English abstract)
39. Naseri, R., Barary, M., Zaree, M.J., Khavazi, K., & Tahmasebi, Z. (2018). Effects of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on root charactrestics of some activities of antioxidant anzyme of wheat under dryland conditions. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysilogy*, *5*(1), 163-188. (In Persian with English

abstract)
40. Naseri R., Barary, M., Zarea, M., Khavazi, K., & Tahmasebi, Z. (2019a). Evaluation of root and grain yield of wheat cultivars affected by phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi under dry land conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *17*(1), 83-98. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22067/gsc.v17i1.69147
41. Naseri, R., Soleymanifard, A., Mirzaeir, A., Darabi, F., & Fathi, A. (2019b). The effect of plant growth promoting rhizohacteria on activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics and root growth of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under dry land conditions of Ilam province. *Iranian Journal of Pulses Research*, *10*(2), 62-76. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i2.64299
42. Nezarat, S., & Gholami, M. (2009). Screening plant growth promoting rhizobacteria for improving grain germination seedling growth and yield of maize. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *12*(1), 26-32. https://doi.org/10.3923/pjbs.2009.26.32
43. Paula, P., & Pausas, J.G. (2011). Root traits explain different foraging strategies between resprouting life histories. *Oecologia*, *165*, 321–331. https://doi.org/10.1007/s00442-010-1806-y
44. Russo, A., Felici, C., Toffanin, A., G.tz M., Collados, C., & Barea, J.M. (2005). Effect of *Azospirillum inoculants* on arbuscular mycorrhiza establishment in wheat and maize plants. *Journal of Biology and Fertility of Soils*, *41*(5), 301–309. https://doi.org/10.1007/s00374-005-0854-7
45. Schenk, M.K., & Barber, S.A. (1979). Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. *Agronomy Journal*, *71*, 921-927. https://doi.org/10.2134/agronj1979.00021962007100060006x
46. Serraj, R., Krishnamurthy, L., Kashiwagi, J., Kumar, J., Chandra, S., & Crouch, J.H. (2004). Variation in root traits of chickpea (C*icer arietinum* L.) grown under terminal drought. *Field Crops Research*, *88(2-3)*, 115–127. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.12.001
47. Shaban, M., Mansourifar, S., Ghobadi, M., & Ashrafi Parchin, R. (2012). Effect of drought stress and starter nitrogen fertilizer on root characteristics and seed yield of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Seed and Plant Production Journal*, *27*(4), 451-470. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110448
48. Shaharoona, B., Arshad, M., Zahir, Z.A., & Khalid, A. (2006). Performance of *Pseudomonas* spp. containing ACC deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. *Soil Biology and Biochemistry*, *38*(9), 2971-2975. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.03.024
49. Shaharoona, B., Naveed, M., Arshad, M., & Zahir, Z.A. (2008). Ferttilizer-dependent efficiency of *Pseudomonas* for improving growth, yield and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Microbial Biotechnology*, *79*(1), 147-155. https://doi.org/10.1007/s00253-008-1419-0
50. Shata, S.M., Mahmoud, S.A., & Siam, H.S. (2007). Improving calcareous soil productivity by integrated effect of intercropping and fertilizer. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, *3*, 733-739.
51. Siddigue, K.H.M., Belford, R.K., & Tennant, D. (1990). Root/shoot ratio of old and modern, tall and semi-draft wheat in a Mediterranean environment. *Plant and Soil*, *121*(1), 89-98. https://doi.org/10.1007/BF00013101
52. Tavakoli, M., & Jalali, A.H. (2016). Effect of different biofertilizers and nitrogen fertilizer levels on yield and yield components of wheat. *Journal of Crop Production and Processing*, *6*(21), 33-45. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.18869/acadpub.jcpp.6.21.34
53. Vessey, J.K., & Buss, T.J. (2002). *Bacillus cereus* UW85 inoculation effects on growth, nodulation, and N accumulation in grain legumes. Controlled-environment studies. *Canadian Journal of Plant Science*, *82*(2), 283-290. https://doi.org/10.4141/P01-047
54. Yang, J., Kloepper, J.W., & Ryu, C.M. (2009). Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends in Plant Science*, *14*(1), 1-4. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.10.004